

SISTEM PENGENDALIAN POSISI SUMBU AZIMUT PADA *TURRET GUN* MENGGUNAKAN KENDALI PI BERBASIS ARDUINO MEGA 2560

Nur Afifah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : nurafifah5@mhs.unesa.ac.id

Puput Wanarti Rusimamto

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : puputwanarti@unesa.ac.id

Abstrak

Salah satu teknologi alutsista untuk pendukung pertahanan negara adalah *turret gun*. *Turret gun* merupakan senjata laras panjang yang dioperasikan dari jarak jauh pada platform tempur seperti *tank* dengan pergerakan arah sesuai target. Aspek penting kinerja *turret gun* adalah kecepatan dan akurasi dalam mencapai posisi sudut yang ditunjuk. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem pengendalian *turret gun* dan mengetahui hasil respon dinamik menggunakan kendali PI. Sistem *turret gun* menggunakan sensor untuk mengetahui keberadaan target. Respon pergerakan *turret gun* diperbaiki dengan mengimplementasikan kendali PI yaitu K_p dan K_i yang telah diketahui akan diterapkan pada *hardware turret gun*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *plant turret gun* menggunakan kendali PI dapat bergerak dengan baik mengikuti target. Nilai konstanta kendali PI menggunakan *first method Ziegler-Nichlos* didapatkan nilai $K_p = 4,165$ dan $K_i = 14,56$ dapat memperbaiki respon gerak *turret gun* dengan hasil analisis respon dinamik $Ess = 0$, $MO = 4,4\%$, $t_d = 0,527$ s, $t_r = 1,672$ s, $t_s = 3,805$ s.

Kata Kunci: *Turret gun*, Azimut, Kendali PI.

Abstract

One of the defense equipment technologies to support national defense is a turret gun. Turret gun is along with a barreled weapon that is operated remotely on a combat platform such as a tank with directional movements according to a target. Important aspects of turret gun performance are speed and accuracy in reaching the designated angle position. The purpose of this research is to design a turret gun control system and find out the result of dynamic responses using PI control. The turret gun system uses sensors to find out the target. The turret gun movement responses are improved by implementing the PI control namely K_p and K_i which are known to be applied to the turret gun hardware. The result showed that a plant turret gun using the PI controller was successfully follow a target. The value of PI control constant using first method Ziegler-Nichlos got $K_p = 4,165$ and $K_i = 14,56$ can improve turret gun response with dynamic response analysis result $Ess = 0$, $MO = 4,4\%$, $t_d = 0,527$ s, $t_r = 1,672$ s, $t_s = 3,805$ s.

Keywords: Turret gun, Azimuth, PI control.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi alutsista pada saat ini dalam upaya untuk mempertahankan kedaulatan negara, keutuhan wilayah suatu negara dari segala bentuk gangguan dan ancaman. Alutsista adalah semua yang berhubungan dengan sistem senjata, kendaraan militer yang digunakan langsung oleh angkatan bersenjata untuk melaksanakan misi pertempuran. Salah satu teknologi alutsista yang ada yaitu *Turret Gun*. *Turret Gun* adalah sistem senjata laras panjang yang digunakan di berbagai platform tempur dan kendaraan seperti di tank dengan pergerakan arah sesuai target atau gangguan. *Turret Gun* dirancang untuk dioperasikan dari jarak jauh

menggunakan joystick dan penglihatan kamera, serta aman dari dalam stasiun pengaturan yang terlindungi. Dua aspek penting kinerja *Turret Gun* adalah akurasi dan kecepatan untuk mencapai posisi sudut yang ditunjuk (Nasyir Tamara,dkk, 2018). Sistem gerakan pada *Turret Gun* terdapat 2 sumbu yaitu, elevasi dan azimut. Sudut azimut merupakan sudut yang dibentuk oleh dua garis lurus, garis pertama menuju utara kompas dan garis ke dua menuju suatu titik sasaran yang dihitung searah jarum jam. Sumbu azimut secara horizontal meliputi gerak rotasi sebesar 360° . Sedangkan sudut elevasi adalah sudut yang dibentuk oleh permukaan bumi dengan arah vertical, dimana sudut 0° dimulai dari permukaan bumi (Wahyudi,Arif. 2015). Penelitian ini menerapkan

kendali PI (*Proportional Integral*) untuk mengatur gerak sumbu azimut *turret gun* yang digerakkan oleh motor DC. Salah satu aspek yang dikembangkan adalah ketepatan dan kecepatan dalam mencapai target karena semakin besar ukuran *turret gun* maka semakin sulit untuk dikendalikan. Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem pengendali sumbu *azimuth* pada *turret gun* dengan kendali PI dan bagaimana hasil respon sistem dinamik dari pengendali PI. Dengan demikian dapat diperoleh nantinya tujuan dari penelitian adalah untuk merancang sistem pengendalian sumbu *azimuth turret gun* dengan kendali PI dan untuk mengetahui hasil respon sistem dinamik.

KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Yang Relevan

Penelitian yang relevan didasarkan oleh penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain antara lain yang dilakukan oleh Danu Wisnu,dkk. (2016) berjudul “Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendalian Sumbu *Azimuth Turret* Pada *Turret-gun* Kaliber 20mm”. Penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan sumbu *azimuth turret gun* dengan menggunakan metode Ziegler-Nichlos dan Root-Locus. Penelitian kedua yang dilakukan oleh Mohammad Naszir Tamara,dkk.(2018) berjudul “Simulasi Dan Eksperimen Kontrol Automatic *Turret Gun*”. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pada simulasi ini peneliti mempresentasikan metode Active Force Control (AFC) yang diaplikasikan pada *Automatic Turret Gun (ATG)*.

Turret Gun

Sistem *turret-gun* terdiri dari *turret* yang memiliki sumbu pergerakan rotasi secara *azimuth*, dan *gun* yang memiliki sumbu pergerakan rotasi secara *elevasi*. Model *turret gun* terdiri dari bagian yang berputar (*turret*) dan laras (*gun*). Sistem *turret-gun* ditunjukkan pada Gambar 1. Prinsip kerja *turret gun* adalah dengan menggerakkan senapan sesuai dengan target, pergerakan arah dan sudut yang mengikuti pergerakan target. *Turret gun* otomatis dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *remote control*, sehingga operator dapat mengoperasikan dengan aman (Danu Wisnu,dkk, 2016).



Gambar 1. *Turret Gun*
(Sumber : Alamo, 2015)

Motor DC

Motor arus searah (DC) tidak banyak digunakan saat ini seperti dulu. Namun penting untuk membahas prinsip kerja dasar dari motor DC, secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC (Krause, 2002). Prinsip kerja motor DC adalah ketika kutub rotor diberi tegangan listrik DC, maka akan dihasilkan medan elektromagnet. Perputaran rotor ini disebabkan oleh adanya gaya tolak-menolak antara kutub-kutub magnet pada ujung inti besi rotor dengan kutub magnet permanen pada bagian stator yang senama. Ini merupakan sifat-sifat magnet (Krause,2002).

Motor Driver

Fungsi motor *driver* yaitu untuk menjalankan motor sebagai pengatur arah putaran motor maupun kecepatan putaran motor. Motor *driver* diperlukan untuk *board* Arduino karena Arduino hanya mampu mengeluarkan arus yang kecil sehingga tidak mampu memenuhi kebutuhan motor DC, sehingga perlu *driver* motor untuk menyesuaikan tegangan dan arus yang dibutuhkan motor tersebut. (Grace Bobby,dkk. 2015).

Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan rangkaian elektronik *open source* yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu chip mikrokontroler ATmega 2560. Mikrokontroler adalah suatu IC yang dapat diprogram menggunakan komputer. Program yang direkan digunakan agar rangkaian elektronik dapat membaca masukan, memproses dan menghasilkan keluaran sesuai yang diinginkan.

Rotary Encoder

Rotary Encoder adalah perangkat elektronik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. Pada dasarnya *rotary encoder* menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi dan arah. Maka posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh *rotary encoder* untuk diteruskan pada rangkaian kendali. *Rotary encoder* sering digunakan pada pengendali robot, motor *drive*, dan sebagainya.

Sensor Infrared E18-D80NK

Sensor *infrared* tipe E18-D80NK adalah sensor untuk mendeteksi ada atau tidaknya suatu obyek. Sensor infra merah sebagai perantara untuk komunikasi data antara *receiver* dan *transmitter*. Apabila obyek berada di depan sensor maka output rangkaian bernilai “1” atau high. Namun ketika obyek tidak terjangkau oleh sensor

maka output rangkaian bernilai “0” atau low. Implementasi sinyal IR termulasi membuat sensor kebal terhadap gangguan yang disebabkan oleh cahaya dari sebuah lampu. Umumnya jarak deteksi sensor adalah 3cm – 80cm.

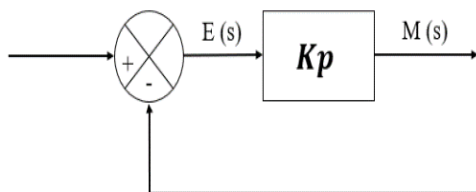


Gambar 2. Sensor infared E18-D80NK
(Sumber: S Mayang Sari, 2015)

Kontroler PI

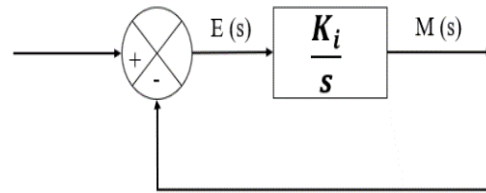
Kontrol proposional (K_p) akan memberikan efek mengurangi waktu naik, tetapi tidak menghapus kesalahan keadaan tunak. Kontroler dengan aksi kontrol proposional hubungannya adalah $m(t)$ sebagai output kontroler dan $e(t)$ adalah sinyal *error* (Ogata, 1985). Fungsi kontrol proporsional pada dasarnya sebagai penguat dengan nilai penguat yang dapat diatur.

Diagram blok kontroler proposional ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Diagram blok kontroler proposional
(Sumber: Ogata, 1985)

Kontroler integral (K_i) akan memberikan efek menghapus keadaan tunak, tetapi berakibat memburuknya respon transien. Hubungan dengan aksi kontrol integral adalah $u(t)$ sebagai *output* kontroler $e(t)$ sebagai sinyal *error*. Jika nilai $e(t)$ bernilai dua kali, maka harga $u(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi dua kali lebih cepat. Jika tidak ada kesalahan maka nilai $u(t)$ tetap. Diagram blok kontroler *integral* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok kontroler integral
(Sumber: Ogata, 1985)

Keuntungan gabungan dari kontroler PI adalah untuk mempercepat reaksi sistem dan menghilangkan *offset*. Kontrol proposional ditambahkan dengan kontroler integral hubungannya adalah $u(t)$ sebagai *output* kontroler $e(t)$ sebagai sinyal *error* (Ogata, 1985).

N Karakteristik dari kontroler PI adalah meniadakan *error steady state* dan menambah *overshoot*. Kontroler dengan kontrol proposional ditambahkan dengan kontroler integral hubungannya adalah $u(t)$ sebagai output dari kontroler dan $e(t)$ adalah sinyal *error* (Ogata, 1985). Aksi kontroler PI (Proporsional-Integral) didefinisikan sebagai :

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (1)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2)$$

Keterangan :

$e(t)$ = Sinyal *error*

$u(t)$ = Keluaran kontroler

K_p = Konstanta proposional

T_i = Waktu integral

$\int_0^t e(t) dt$ = Integral sinyal *error* terhadap waktu

Metode *Tuning* Ziegler-Nichlos

Ziegler dan Nichols menyarankan peraturan untuk menyetel pengendali PID (menetapkan nilai K_p , T_i dan T_d). Aturan Ziegler-Nichols berguna saat model matematis plant tidak diketahui. (Aturan ini tentu saja bisa diterapkan pada perancangan sistem dengan matematika yang diketahui modelnya). Ziegler dan Nichols mengusulkan peraturan untuk menentukan nilai penguatan K_p , waktu *integral* T_i , dan waktu turun T_d berdasarkan karakteristik respons transien dari plan tertentu (Ogata, 1985). Dalam penelitian ini menggunakan metode pertama, berikut tabel aturan *tuning* Ziegler-Nichols orde 1 :

Tabel 1. Aturan *tuning* Ziegler-Nichlos

Tipe Kendali	Kp	Ki	Kd
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

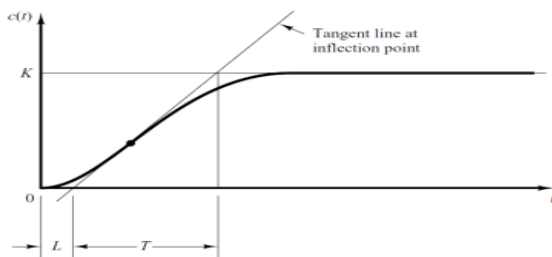
(Sumber: Ogata, 1985)

Keterangan :

T = konstanta waktu

L = waktu tunda

Pada metode pertama, diperoleh eksperimen respon plant terhadap masukan unit-step. Jika plant tidak melibatkan integrator atau kutub konjugat kompleks yang dominan, maka kurva respons unit-step semacam itu mungkin terlihat berbentuk S. Metode ini berlaku jika respons terhadap masukan langkah menunjukkan kurva berbentuk S. Kurva respons seperti itu dapat dihasilkan secara eksperimental atau dari simulasi dinamis plant. Kurva berbentuk S dapat dicirikan oleh dua konstanta, waktu tunda L dan konstanta waktu T (Ogata, 1985). Ketepatan waktu dan waktu tunda ditentukan dengan menggambar garis singgung pada titik belok kurva berbentuk S dan menentukan persimpangan garis singgung garis dengan sumbu waktu dan garis $c(t) = K$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

**Gambar 5.** Kurva respons
(Sumber: Ogata, 1985)

METODE PENELITIAN

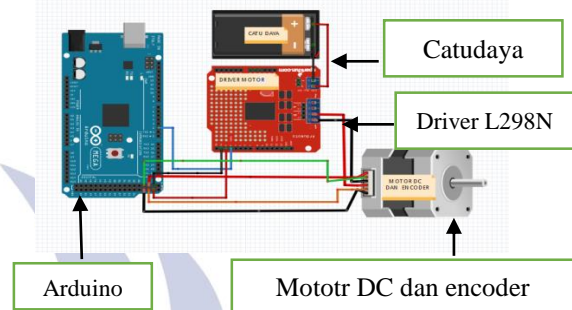
Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian kuantitatif yaitu melibatkan perhitungan angka atau kuantifikasi data. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan alat yang objektif dan baku (Kasiram, Moh. 2008)

Rancang bangun Hardware

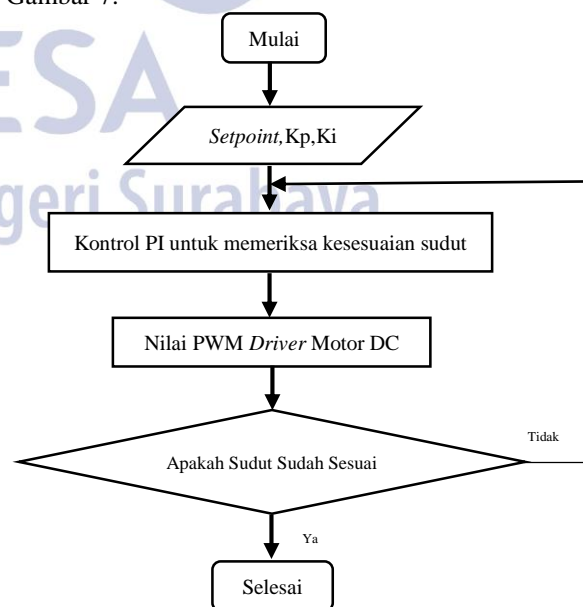
Catu daya untuk menyediakan tegangan listrik ke semua rangkain dengan sumber listrik sebesar 220 VAC. LabVIEW digunakan memproses data yang nantinya akan

diteruskan ke Arduino Mega 2560. Hasil pembacaan sensor akan dikirimkan ke Arduino sebagai penghubung yang meneruskan data ke PC. Driver motor DC berfungsi sebagai aktuator yang digunakan untuk menggerakkan motor DC. Motor DC akan berputar 180 derajat berfungsi sebagai penggerak *turret* agar sesuai dengan setpoint yang telah ditentukan. Sensor encoder digunakan membaca sudut putaran pada motor. Komponen tersebut akan disambungkan seperti Gambar 6.

**Gambar 6.** Diagram Pengkabelan Sistem *Turret Gun*
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2019)

Rancang Bangun Software

Parameter set awal sudut 0° . Setelah memperoleh *set point* sudut posisi, maka *plant* akan diberikan aksi kontroler PI untuk mendapatkan pergerakan *turret*. Nilai *set point* akan dibandingkan dengan nilai sudut pada pembacaan sensor. Jika nilai sudut pembacaan sama dengan nilai sudut *set point*, maka motor DC tidak akan bergerak. Namun jika nilai sudut pembacaan tidak sama dengan nilai sudut *set point* maka motor akan bergerak hingga mendapatkan nilai sudut yang sesuai. Perancangan *software* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

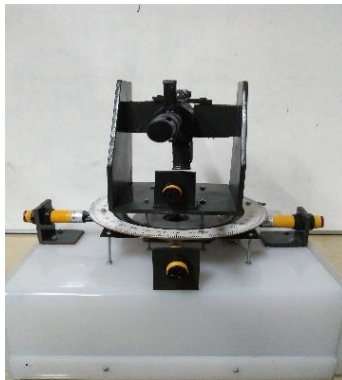
**Gambar 7.** Diagram alir software *turret gun*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2019)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan membahas pengujian dan analisis meliputi hasil rancangan *hardware* dan *software*, pengujian sistem gerakan *turret gun*, dan uji kendali PI.

Hasil Rancangan *Hardware* dan *Software*

Hasil realisasi rancang *plant turret gun* seperti pada Gambar 9. Desain *hardware* terdiri dari bagian tetap dan bagian yang berputar. Pada bagian tetap berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 31 cm, lebar 25 cm dan tinggi 34,5 cm. Sedangkan pada bagian berputar terdapat gear, busur, sensor dan *gun*.



Gambar 8. *Plant turret gun*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2019)

Pada hasil perancangan *software* terdiri dari kode Arduino dan *software Labview* untuk memonitor hasil respon pergerakan *turret gun*. Hasil perancangan *software Labview* untuk *front panel* ditunjukkan pada Gambar 9.



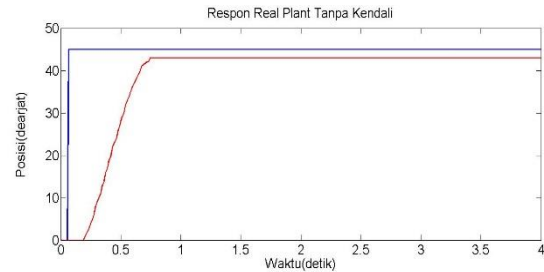
Gambar 9. *Front panel* pada *Labview*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2019)

Uji Sistem Gerakan *Turret Gun*

1. Pengujian respon *plant turret gun* tanpa kendali

Pengujian respon sistem dari *turret gun* dilakukan untuk mendapatkan nilai kontrol PI (*proportional-integral*) yang nantinya akan diterapkan untuk menyesuaikan posisi *turret* dengan sudut yang

di inginkan. Pada pengujian ini dilakukan untuk melihat respon gerakan *turret gun* dalam mencapai *set point* tanpa kendali. Pengujian dilakukan hanya untuk melihat respon pergerakan *turret* dan untuk *set point* yang diberikan adalah 45 derajat. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai $T = 0,398$ dan $L = 0,086$. Dan respon dari gerakan *turret gun* tanpa kendali masih terdapat *error steady state* sebesar 2.



Gambar 10. Respon *Real Plant* Tanpa Kendali
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2019)

2. Pemodelan Sistem *Turret Gun*

Pemodelan sistem digunakan untuk mencari fungsi alih dari *turret gun* dalam bentuk model matematika. Dengan mengetahui model matematika dari *turret gun* maka nilai parameter PI dapat dicari.

Tabel 2. Parameter Fisik *Plant*

No	Nama Alat	Simbol	Spesifikasi
1	Rasio gigi	N	1 : 2,5
2	Torsi motor	K_t	0,0134
3	Tegangan Konstan	K_b	2,117
4	Resistansi motor	R_a	1,9
5	Massa <i>turret</i>	m_1	0,025
6	Massa <i>gun</i>	m_2	0,01
7	Jari-jari <i>turret</i>	R_1	0,06
8	Jari-jari <i>gun</i>	R_2	0,22
9	Tegangan Motor	E_a	12

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2019)

Kemudian di sederhanakan menjadi variabel A,B, C dan D agar lebih mudah untuk memasukkan rumus tersebut ke LabVIEW.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{R_a(\frac{1}{2}m_1R_1^2 + m_2R_1^2 + m_2R_1R_2 \cos(\theta_2) + \frac{1}{3}m_2R_2^2 \cos^2(\theta_2))} NK_t K_b \\ 0 & R_a(\frac{1}{2}m_1R_1^2 + m_2R_1^2 + m_2R_1R_2 \cos(\theta_2) + \frac{1}{3}m_2R_2^2 \cos^2(\theta_2)) \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & K_t E_a N \\ R_a(\frac{1}{2}m_1R_1^2 + m_2R_1^2 + m_2R_1R_2 \cos(\theta_2) + \frac{1}{3}m_2R_2^2 \cos^2(\theta_2)) \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$C = (1 \ 0) \quad (5)$$

$$D = (0) \quad (6)$$

Variabel State A, B, C, dan D dirubah menjadi *state space* model dengan fungsi *Mathscript* yaitu :

$$\text{StateSpace} = \text{ss} (A,B,C,D)$$

Keterangan :

- A : Matrix state
B : Matrix input
C : Matrix output
D : Matrix transmisi

Maka diperoleh nilai fungsi alih seperti persamaan (7)

$$TF = \frac{90,4345}{15,9541s+1} \quad (7)$$

Uji Kendali PI

1. Penentuan Parameter PI

Berdasarkan gambar 15 diketahui nilai $L = 0,086$ dan $T = 0,398$. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai K_p dan T_i sesuai dengan aturan pada tabel 1.

Dari rumus tersebut maka akan diperoleh nilai kontroler PI, yaitu sebagai berikut :

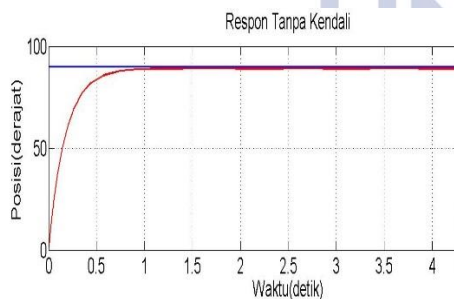
$$K_p = 4,165$$

$$T_i = 0,286$$

$$K_i = 14,56$$

2. Implementasi Kendali PI pada Turret Gun

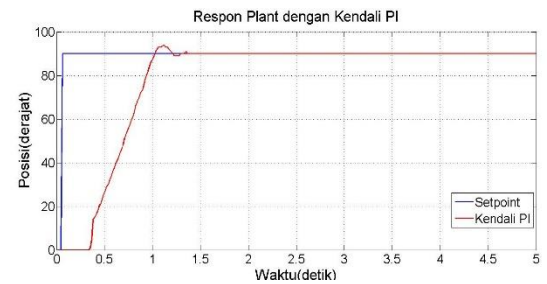
a. Pengujian pada *Set point* Tetap (90°) Tanpa Kendali



Gambar 11. Respon Gerakan Turret Gun Tanpa Kendali PI

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2019)

b. Pengujian pada *Set point* Tetap (90°) dengan Kendali PI



Gambar 12. Respon Gerakan Turret Gun Tanpa Kendali PI

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2019)

Pada gambar 11 adalah respon *turret gun* tanpa kendali PI yang masih mempunyai *error steady state* 3 sedangkan pada gambar 12 respon yang dihasilkan sistem dengan kendali PI telah mencapai *set point* namun masih terdapat *overshoot* sebelum mencapai *set point*. Dari respon *real plant* tersebut dapat dianalisis respon dinamik untuk menunjukkan perubahan respon antara sistem *turret gun* tanpa kendali dan dengan kendali.

Untuk respon sistem tanpa kendali dapat dicari nilai $C\tau = 0,632 \times 87 = 54,984$ dan $\tau = 1,122$, sedangkan untuk respon sistem dengan kendali dapat dicari nilai $C\tau = 0,632 \times 90 = 56,68$ dan nilai $\tau = 0,761$, untuk mencari respon dinamik sebagai berikut :

$$1. \text{ Time delay (td)} \quad td = \tau \ln 2 \quad (8)$$

$$2. \text{ Rise time (tr 5\% - 95\%)} \quad tr = \tau \ln 19 \quad (9)$$

$$\text{Rise time (tr 10\% - 90\%)} \quad tr = \tau \ln 9 \quad (10)$$

$$3. \text{ Settling time (ts 5\%)} \quad ts = 3\tau \quad (11)$$

$$\text{Settling time (ts 2\%)} \quad ts = 4\tau \quad (12)$$

$$\text{Settling time (ts 0.5\%)} \quad ts = 5\tau \quad (13)$$

$$4. \text{ Error Steady State} \quad Ess = \frac{Y_{ss} - X_{ss}}{X_{ss}} \quad (14)$$

$$5. \text{ Maximum Overshoot} \quad MO\% = \frac{Y_p - Y_{ss}}{Y_{ss}} 100\% \quad (15)$$

Berdasarkan rumus diatas maka diperoleh nilai dari respon dinamik *real plant* tanpa kendali dan dengan kendali pada *setpoint* tetap ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Respon Dinamik *Real Plant* Pada *Setpoint* Tetap

Respon Dinamik	Tanpa Kendali	Dengan Kendali PI
td	0,777 s	0,527 s
tr(5% – 95%)	3,303 s	2,240 s
tr(10% – 95%)	2,465 s	1,672 s
ts 5%	3,366 s	2,283 s
ts 2%	4,488 s	3,044 s
ts 0.5%	5,61 s	3,805 s
Ess	0,333	0
MO%	0%	4,4%

Keterangan :

td = *time delay*

tr = *rise time*

ts = *settling time*

Ess = *Error steady state*

MO = *Maximum percent overshoot*

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka didapatkan simpulan bahwa prototipe *turret gun* dengan kendali PI berhasil dibuat menggunakan metode Ziegler-Nichlos. Cara memperoleh nilai kendali PI adalah dengan menguji *plant* tanpa kendali, kemudian mencari nilai L dan nilai T sesuai aturan *first method* Ziegler-Nichlos. Kemudian memasukkan nilai L dan nilai T sebagai parameter yang digunakan untuk mendapatkan nilai Kp dan Ki. Hasil pengujian yaitu sistem dapat mencapai posisi sudut yang sesuai dengan target yang telah ditentukan. Dengan mengimplementasikan kendali PI pada *turret gun* dengan nilai Kp = 4,165, Ki = 14,56 dan Kd = 0 dapat memperbaiki respon gerakan *turret gun* dengan Ess = 0, MO = 4,4% $t_d = 0,527$ s, $t_r = 1,672$ s, dan $t_s = 3,805$ s.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa aspek yang dapat diperbaiki dan dikembangkan agar memberikan hasil yang lebih maksimal meliputi menggunakan sensor dengan spesifikasi yang lebih baik agar dapat menentukan target lebih akurat dan presisi, ataupun dapat dikembangkan pada posisi elevasi sehingga *turret gun* dapat bergerak secara vertikal. Adapun sistem ini masih dapat dikembangkan dengan menggunakan metode pengendali yang lain seperti PID, PD-Fuzzy, LQR dan lain-lain untuk mendapatkan hasil respon kecepatan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamo. 2015. "Korean Infantry Fighting Vehicle gets more firepower with new turret gun". (Online), (<https://forums.spacebattles.com/threads/korean-infantry-fighting-vehicle-gets-more-firepower-with-new-turret.364062/>, diunduh 30 Juni 2019).
- Arduino. 2019. "Tech Specs Arduino MEGA 2560". (Online), (<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>, diunduh 28 Februari 2019).
- Bobby, Grace, Susanto, E., & Dharmawan, A. 2015. "Balancing Robot Menggunakan Metode Kendali Proporsional Integral Derivatif". *IJEIS-Indonesian journal of Electronics and Instrumentation Systems*. Vol. 5(1): hal 89-98
- Instruments, National. 2018. "What is LabVIEW?". (Online). (<http://www.ni.com/labview/>, diakses pada 20 Februari 2019).
- Kasiram. Moh. 2008. *Metodologi Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif*. Malang : UIN Maliki Press
- Krause, Paul. 2002. "Analysis of Electric Machinery and Drive Systems". Second Edition. Purdue University. ISBN 0-471-14326-X.
- Mayang, Sari S. 2015. "Sensor Infrared". Sumatera Selatan: Politeknik Negeri Sriwijaya
- Nasyir Tamara, Moh., Pramuji, Bambang., Nurhadi, Hendro. Pitowo, Endra. 2018. "Simulasi dan Eksperimen Kontrol Automatic Turret Gun". *Jurnal ELTEK*. Vol. 16 (1) : hal. 1-13.
- Ogata, Katsuhito. 1985. *Teknik Kontrol Automatik*. Terjemahan Edi Leksono. Jakarta: Erlangga.
- Wahyudi, Arif. 2015. *Perancangan Dan Pembuatan Alat Ukur Jarak Digital Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Rotary Encoder*. Skripsi tidak diterbitkan. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wisnu, Danu., Wahjudi, Arif., Nurhadi, Hendro. 2016. "Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-gun Kaliber 20mm". *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 5 (2) : 2337-3539